



EESTI MAAÜLIKOOL
Tehnikainstituut

Harlis All

**SADEMETE KAUDNE MONITOORING EESTI
MAAÜLIKOOLI TEHNIKAMAJA TARISTUL**

INDIRECT MONITORING OF PRECIPITATION ON
INSTITUTE OF TECHNOLOGY INFRASTRUCTURE

Bakalaureusetöö

Tehnika ja tehnoloogia õppekava

Juhendajad: Mart Hovi, *MSc*
Küllli Hovi, *MSc*

Tartu 2021

Eesti Maaülikool Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Bakalaureusetöö lühikokkuvõte	
Autor: Harlis All		Õppekava: Tehnika ja Tehnoloogia	
Pealkiri: Sademete kaudne monitooring Eesti Maaülikooli Tehnikamaja taristul			
Lehekülgi: 38	Jooniseid: 18	Tabeleid: 1	Lisasid: 1
<p>Osakond: Energiakasutuse õppetool</p> <p>Uurimisvaldkond: ETIS-e teadusvaldkond ja CERC S-i kood. 4.17 Energeetikaalased uuringud; T140 Energeetika</p> <p>Juhendaja(d): Mart Hovi, Külli Hovi</p> <p>Kaitsmiskoht ja aasta: Tartu, 2021</p> <p>Antud bakalaureusetöö eesmärk on uurida võimalusi sademete kaudseks mõõtmiseks Eesti Maaülikooli tehnikamaja taristu olemasolevatel elementidel. Uurimustöös antakse ülevaade olemasolevatest vihmavee kogumis- ja mõõtmissüsteemidest. Töö katselises osas antakse ülevaade katseseadmest ning tehakse mõõtmised, mille alusel hinnatakse ehitatud mõõtesüsteemi toimivust. Töö käigus ehitatud mõõteseadme tulemusi võrreldakse Tartu Ülikooli füüsika instituudi ilmajaama andmetega.</p> <p>Sademevesi on juhusliku iseloomuga looduslik ressurss, mida on võimalik salvestada ning kasutada trassivee säästmiseks või katelseadmetes soojuskandjana. Sademete kasutamisel ressursina, on olulisel kohal vihmavee prognoosimine ja mõõtmine.</p> <p>Töö käigus selgus, et loodud mõõtesead ei ole võimeline mõõtma sademete hulka tehnikamajas olevas vihmavee kogumissüsteemis kui sademete intensiivsus on suurem kui 0,35 mm/h. Loodud mõõtesead on võimeline sademeid mõõtma vaid süsteemis, kus mahutisse jõudev kogutud sademevee hulk ei ole piiratud.</p> <p>Märksõnad: sademete mõõtmine, vihmavee kogumissüsteem, arendusplaat, integreeritud programmeerimiskeskond, ultraheli kaugusandur</p>			

Estonian University of Life Sciences Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Abstract of Bachelor´s Thesis	
Author: Harlis All		Speciality: Engineering	
Title: Indirect monitoring of precipitation on institute of technology infrastructure			
Pages: 38	Figures: 18	Tables: 1	Appendixes: 1
Department: Chair of Energy Application Engineering Field of research and (CERC S) code: 4.17 Energetic research; T140 Energy research Supervisors: Mart Hovi, Külli Hovi Place and date: Tartu, 2021			
<p>The main aim of this thesis is to explore the possibilities of indirect monitoring of precipitation on institute of technology infrastructure elements. The research paper provides an overview of the existing rainwater collection and measurement systems. The experimental part of the work, gives an overview of the built measuring device and measured data on the basis of which the effectiveness of the measuring device is evaluated. The gathered data is compared with the data of the weather station of the institute of Physics, University of Tartu.</p> <p>Rainwater is a natural resource of a random nature that can be stored and used to save mains water or as a heat carrier in boilers. When using precipitation as a resource, rainfall forecasting and measurement become really important.</p> <p>During work, it became clear that the crated measuring device is not able to measure the amount of precipitation in the tehnikamaja rainwater collection system if the intensity of precipitation is higher than 0,35 mm/h. The measuring device is able to measure precipitation only in a system where the amount of collected rainwater reaching the tank is not limited.</p>			
Keywords: precipitation measurement, rainwater collection system, development board, integrated development environment, ultrasonic distance sensor			

SISUKORD

SISUKORD	4
SISSEJUHATUS	5
LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU	6
1. SADEMETE KOGUMINE JA MÕÕTMINE.....	7
1.1. Vihmavee kogumine ja käitlemine	7
1.2. Sademete mõõtmine.....	8
2. KASUTATAVAD SEADMED JA TARKVARA	10
2.1. Arendusplaadid	10
2.1.1. ESP8266 <i>NodeMCU</i>	11
2.2. Arduino <i>IDE</i>	13
2.3. Andurid	14
2.3.1. Ultraheli kaugusandur HC-SR04.....	14
3. SADEMETE KAUDNE MÕÕTMINE TEHNIKAMAJAS	16
3.1. Vihmavee kogumispindala mõõtmine	16
3.2. Sademete kogumissüsteem Eesti Maaülikooli tehnikamajas.....	17
3.3. Mõõteseadme ehitamine	19
3.3.1. Mõõteprogramm	22
3.4. Mõõteseadme katsetamine	26
4. TULEMUSTE ANALÜÜS	30
KOKKUVÕTE	31
KASUTATUD KIRJANDUS	32
SUMMARY	33
LISAD	34
Lisa 1. Mõõteseadme programm	35
Lisa 2. Lihtlitsents	38

SISSEJUHATUS

Antud bakalaureusetöö eesmärk on uurida võimalusi sademete kaudseks mõõtmiseks Eesti Maaülikooli tehnikamaja taristu olemasolevatel elementidel. Uurimistöös antakse ülevaade olemasolevatest vihmavee kogumis- ja mõõtmissüsteemidest, katseseadmest ning tehakse mõõtmised, mille alusel hinnatakse ehitatud mõõtesüsteemi toimivust.

Tänapäeval võetakse juba paljude majade ehitamisel arvesse vihmavee potentsiaali ning projekteeritakse hoonele sajuvee kogumiseks mahutid, millesse kogunevat sajuvett on võimalik kasutada näiteks tualettides või kastmissüsteemides. Töös uuritakse võimalust lisada kirjeldatud süsteemi mahutisse mõõteseade, mille kaudu on võimalik kaudselt mõõta mahutis olevat veekogust, veekulu ning langenud sademete hulka.

Vee potentsiaali kasutamine elektrienergia tootmiseks on olnud kasutusel juba sajandeid. Siiski leidub ka teisi võimalusi vee kasutamiseks energeetika valdkonnas. Näiteks on kogutud vihmavett võimalik kasutada trassivee säästmiseks või katelseadmetes soojuskandjana. Vihmavee puhul on tegemist juhusliku iseloomuga loodusliku ressursiga, mistõttu on selle kasutamisel olulisel kohal vihmavee prognoosimine ning mõõtmine.

Eesmärgi saavutamiseks on töö jagatud neljaks peatükiks. Esimeses peatükis antakse ülevaade olemasolevatest sademevee kogumissüsteemidest, mõõtmissüsteemidest ning vihmavee käitlemisega seotud seadusandlusest. Teises peatükis antakse ülevaade töö käigust tehtud mõõteseadme ehitamiseks kasutatud riist- ja tarkvarast. Kolmandas peatükis kirjeldatakse mõõtesüsteemi loomise käiku, ehitust ning saadud katsetulemusi. Neljandas osas analüüsitakse loodud mõõteseadme toimivust ning pakutakse võimalusi seadme parandamiseks.

Tänan oma juhendajaid Mart Hovi ja Külli Hovi abi ja toe eest uurimustöö vältel.

LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU

A_{katus} -	kogumiseks kasutatava katuse pindala
GPIO -	mitmeotstarbeline sisend/väljund
H_{veetase} -	veetaseme kõrgus
IDE -	integreeritud programmeerimiskeskond
mm -	sademete hulk
r -	suhteline õhuniiskus
t -	temperatuur
USB -	universaalne jadasiin
v -	helikiirus
V_{cm} -	1cm veetaseme tõusule vastav vee maht

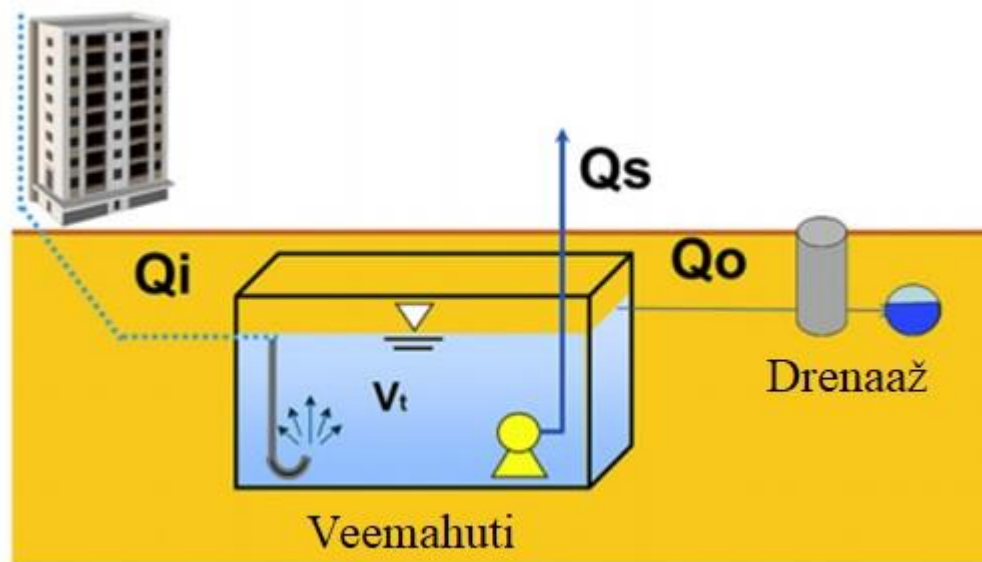
1. SADEMETE KOGUMINE JA MÕÕTMINE

1.1. Vihmavee kogumine ja käitlemine

Inimkonna populatsiooni suurenemise ning sellega seonduva nõudluse kasvu tulemusel on paljudes riikides tekkinud probleeme vee tagamisega, tarbimise tipphetkedel. Näiteks hommikul ning õhtul vee tarbimises tekkiv järsk tõus nõuab veevärgi pumpade oluliselt suuremat võimsust võrreldes keskmise veetarbimisega. Tarbimise hetkelist kiiret kasvu oleks võimalik vähendada, kui lisada hoonetele veemahuti, mis siluks tipp-tarbimishetkel tekkivat nõudluskõverat ning töötaks kui veetorn. Veemahutites, oleks võimalus kasutada vihmavett, ning kasutada seda tualettides ning pesemiseks, mis peale nõudluskõvera silumise, vähendaks ka selle koormust suuremas plaanis. [1]

Selliseid vihmavee kogumise ja taaskasutuse süsteeme kasutatakse juba praegu laialdasemalt näiteks Jaapanis, kus näiteks sealsete spordistaadionite WC-d ja kastmissüsteemid kasutavad kuni 35000 m² suuruselt alalt kogutud vihmavett. Jaapanis on ehitatud ka teisi suuremaid vihmavee kogumissüsteeme, et vähendada kohalikke üleujutuste probleeme, sõltuvust trassiveest ning sellega kaasnevaid kulusi. Singapuris asuvas Nanyang Tehnoloogiaülikoolis tehtud uuringus leiti, et 38700 m² suuruselt alalt vihmavee kogumine 2542 m³ suurusesse mahutisse ning selle osaline kasutamine WC-des vähendaks ülikooli veearvet 12,4%. [2]

Üks võimalus vihmavee kogumiseks, mis on kogumissüsteemides laialdaselt kasutusel, on sajuvee kogumine hoonete katustelt. Katusele kogutud vihmavesi suunatakse mahutisse, kust on võimalik kogutud vee jaotamine vastavalt vajadusele. Sellise kogumise korral on oluline arvestada süsteemi efektiivsust, mis võtaks arvesse näiteks vihmavee, mis katusele kogumissüsteemi ei jõua ning samuti mahuti täitumisel ülevoolu tõttu kaduma läinud sajuvee. [1]



Joonis 1.1. Vihmavee kogumise põhimõtteskeem. [1]

Loomulikult tekib sademete kogumisel ka olukordi, kus kogumiseks mõeldud mahuti saab täis ning tekib sademevee ülevool. Sademete ärajuhtimisel, tuleks lähtuda õiguslikest alustest. Õiguslikult loetakse sademete-, drenaaživee ja muu pinnavee ärajuhtimise ehitisi ja seadmeid ühisveevärgi ja kanalisatsiooni osaks juhul, kui kohalik omavalitsus ei ole määratlenud teisiti. Kanalisatsioonitorustikke on kahte tüüpi – ühis- ja lahkvoolne. Vastavalt kanalisatsioonitorustiku tüübile tuleb sademevee ärajuhtimisel jälgida millisesse torustikku kogumismahuti ülevool tuleks suunata. Ühisvoolse kanalisatsioonitorustiku korral reovett ja sadevett ei eristata ning need võib juhtida samasse trassi. Lahkvoolse kanalisatsioonitrassi korral eristatakse reovesi ja sadevesi omavahel ning need juhitakse kahte eraldiseisvasse torustikku. Seega peaks kogutud sadevee juhtimise korraldama vastavalt selle kasutusele. Juhul kui sadevett kasutatakse tualettides või duširuumides peaks edasi käitlema seda kui reovett. [3]

1.2. Sademete mõõtmine

Sademeteks nimetatakse vett, mis on langenud atmosfäärist maapinnale. Sademete all mõistetakse vett nii vedelas kui ka tahkes olekus. Tihti arvatakse sademete hulka ka õhuniiskusest tingituna maapinnale kondenseerunud vett nagu näiteks kaste, jäide ja härmatis. [4]

Sademetete mõõtmisel kasutatakse tavaliselt kahte peamist mõistet, sademetete hulka ja sademetete intensiivsus. Hulga all mõeldakse siinkohal sademevee kihi paksust horisontaalsel pinnal, kust vesi ei saa ära valguda, pinnasesse imbuda või ära aurustuda. Sademevee kihi paksust mõõdetakse SI ühikutes vastavalt $\text{kg/m}^2 = \text{l/m}^2 = \text{mm/m}^2$. Sademetete intensiivsust mõõdetakse samuti SI süsteemis vastavalt $(\text{kg/m}^2)/\text{h} = \text{mm/h}$. [4]

Sademeid saab mõõta nii manuaalselt, kui ka automatiseeritult. Väga levinud manuaalseks mõõteseadmeks on O-1 ehk *Tretjakovi* sademetemõõtja. See on 200 cm² püüdepinnaga sademenõu koos mõõteklaasiga, mille igale jaotisele vastab 0,1 mm sademetete hulka. Sellise mõõteviisi korral, peab peale mõõtmist mõõteanuma manuaalselt tühjaks kallama, ning sademetete intensiivsuse mõõtmiseks on vaja mõõteklaasi pidevalt jälgida. Alates 2003. aasta septembrist on hakatud ka Eestis ilmajaamades tehtavaid sademetete mõõtmisi automatiseerima ning alates 2011. aastast on kogu Eesti meteoroloogia seirevõrgus mindud üle VRG-101 ning OTT Pluvio2 kaalu tüüpi automaatsetele sademetemõõtjatele. [4]

Põhiliselt on kasutusel nelja erinevat tüüpi automaatseid sademetemõõtjaid. Kõige enam on kasutusel kaal - kauss tüüpi mõõteseadmed, mis toimivad kahe anuma või lusika ja kang-kaalu põhimõttel. See seade mõõdab sademeid vastavalt kallutuste sagedusele. Kogumislehtri alla on paigutatud lusikas, mis on täpselt kalibreeritud hoidma teatud kogust sademeid. Kui see kogus suureneb kallatakse sinna kogunenud vesi maha ning keeratakse teine lusikas kogumislehtri tila ette. Registreerides maha kallamiste arvu ja sagedust, on võimalik mõõta nii sademetete kogust kui ka sagedust. [5]

Veidi väiksemal määral on kasutusel kaalu tööpõhimõttel töötavad sademetete mõõturid. Sademed kogutakse ühte anumasse ning sademetete kogus arvutatakse anumasse oleva massi alusel. Veel kasutatakse optilist tüüpi mõõteseadet, mis kasutab sademetete mõõtmiseks optikaseadmeid, mõõtes valguse keskkonna läbivust või hajumist ning kalkuleerides selle põhjal sademetete tiheduse, võimaliku hulga ja tüübi. Vähem kasutatakse ka veetaseme mõõtmist, kus mõõdetakse mahutisse kogunenud veetaseme kõrgust ning arvutatakse langenud sademetete hulka kõrguse muutustest tulenevalt. [5]

2. KASUTATAVAD SEADMED JA TARKVARA

2.1. Arendusplaadid

Arendusplaadid on komplekteeritud trükkplaadid koos vajalike elektroonikakomponentidega, mis võimaldavad kergesti katsetada ja testida, erinevaid mikrokontrollereid ja -protsessoreid. Arendusplaadid sisaldavad endas tavaliselt toiteahelat, programmeerimise liidest, põhilisi sisendahelaid (tavaliselt nupplülitid), indikaatorahelat milleks võib olla näiteks lihtne LED-diod ja sisend ja väljund klemmid, mis on tehtud kergesti ligipääsetavaks ning võimaldavad juhtida vajalikku ahela elektronikat või anda käske läbi mikrokontrolleri. [6]

Arendusplaadid jagunevad üldiselt nelja rühma, olenevalt juhtahela süsteemist:

- **Mikrokontrolleritel** põhinevad arendusplaadid, mis kasutavad jadaedastuseks ja sisend/väljund klemmide kontrollimiseks mikrokontrollerit. Näiteks *Arduino* ja *Crumble*.
- **Mikroprotsessoril** põhinevad arendusplaadid, mis sisaldavad endas mikroprotsessorit, muutmälu, graafikaprotsessorit ja tavaliselt mitmeid kommunikatsiooni võimalusi nagu USB ja Ethernet. Näiteks *Raspberry Pi* või *Beaglebone Black*.
- **FPGA (*field-programmable gate array*)** põhinevad arendusplaadid, mis kasutavad põhiprotsessorina FPGA-d ehk kohapeal programmeeritavat ventiilmaatriksit. Arendusplaadi komponendid võivad varieeruda sõltuvalt kasutusala. Näiteks toodab FPGA-l põhinevaid arendusplaate *TeraIC*.
- **Hübriid** arendusplaadid, tavaliselt lühendina SOC (*System on Chip*). SOC arendusplaadid kombineerivad tavaliselt mikroprotsessori ja programmeeritava loogika kontrolleri ning mitmeid elemente eelmistest kategooriatest. Näiteks toodab selliseid plaate samuti *TeraIC*. [7]

Arendusplaadi valik sõltub peamiselt sellest, millist mikrokontrollerit soovitakse kasutada. Mikrokontrollerite valik on tänapäeval väga suur ning nende võimekus ja hind võib olla väga erinev. Mõned näited enim kasutatavatest mikrokontrolleritest on Zilog Z8, Intel 8051, Texas Instruments TIMSP430 ning Atmel AVR. [6]

2.1.1. ESP8266 *NodeMCU*

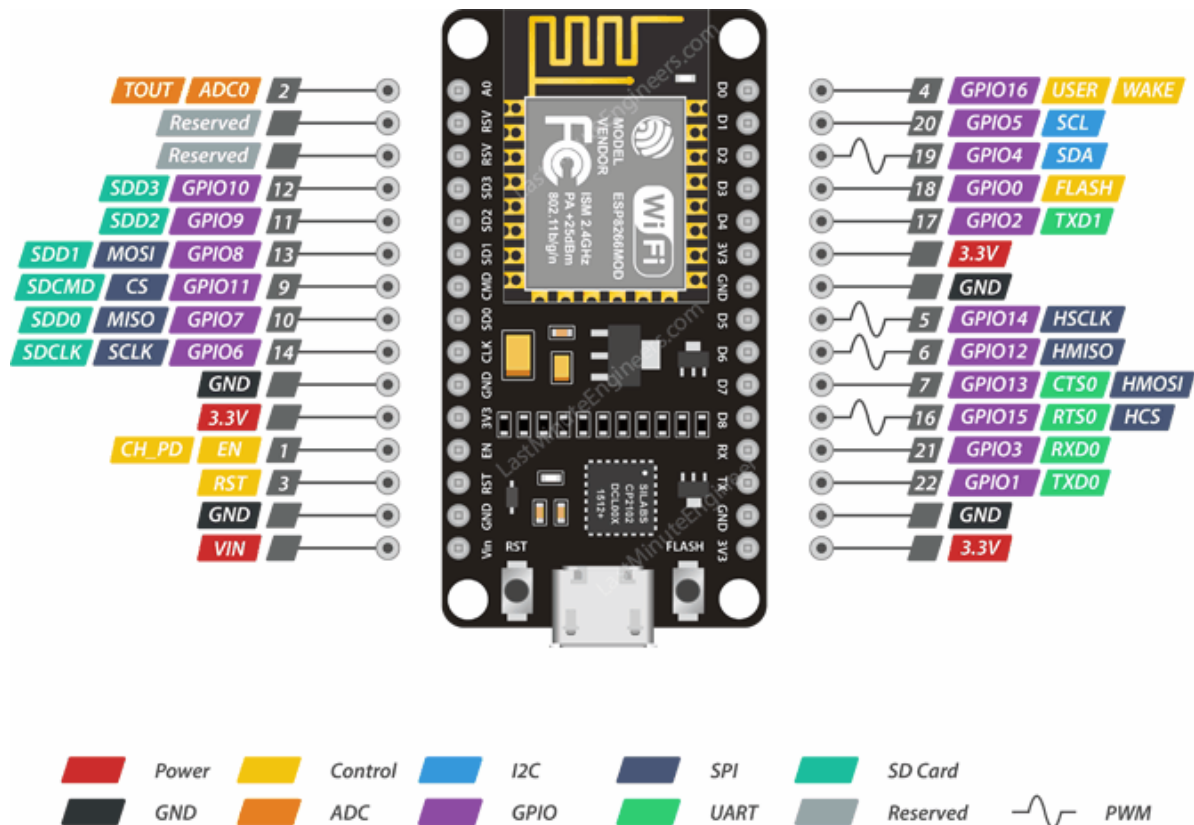
NodeMCU on arendusplaat, mis kasutab ESP-12E moodulit, mis sisaldab endas ESP8266 kiipi ning *Tensilica Xtensa® 32-bit LX106 RISC* mikroprotsessorit põhiprotsessorina. Mikroprotsessor töötab sagedusel 80 – 160 MHz, omab 128kB sisseehitatud muutmälu ja 4MB välist välmälu programmi ja andmete salvestamiseks ning võimaldab kasutada 802.11b/g/n Wi-Fi HT40 transiiverit sagedusel 2,4 GHz raadiovõrgus andmete saatmiseks ja oma raadiovõrgu tekitamiseks. [8]

ESP8266 töötab pinge vahemikus 3V – 3,6V. Selle tagamiseks on arendusplaadile integreeritud pingeregulaator, mis tagab ESP8266 kiibile stabiilse toite 3,3V kuni 600 mA. Arendusplaadi toide on 5V ning see on võimalik tagada läbi mikro USB pordi või Vin klemmi kaudu välisest toiteallikast. ESP8266 tarbib maksimaalselt raadioside loomisel 80mA ning võimaldab kasutada ka une-režiimi, mille ajal on voolutarve 20 μ A. Toiteklemme pingega 3,3V ja maandusklemme on arendusplaadile välja toodud neli tükki (joonisel 2.1. toiteklemmid märgitud punasega maandusklemmid mustaga). [8]

Arendusplaadile on välja toodud 17 mitme otstarbelist sisend/väljund klemmi GPIO (*general purpose input/output*). [8]

- 1 ADC kanal – analoog digitaal muunduriga 10-bitise täpsusega SAR ADC
- 2 UART liidest – jadaliides, võimeline andmesidekiiruseks kuni 4.5 Mbps. UART1 (joonisel 2.1. TXD1) peamiselt logi trükkimiseks ning UART0 (joonisel 2.1. TXD0) kasutatakse suhtluseks, sest võimaldab sujuvat kontrolli.
- 4 PWM väljundit – pulsimodulatsiooniga väljundid pulsisagedusega 1000 μ s - 10000 μ s (joonisel 2.1. klemmid 19; 5 ;6 ; 16).
- 8 SPI, 2 I2C ja I2S liidest – sensorite ja väljundite jaoks.

Lisaks on arendusplaadile toodud kolm protsessori kontrollklemmi.:EN klemm – võimaldab ESP8266 kiibi sisse ja väljalülitamist, RST klemm – ESP8266 taaskäivitamiseks ning WAKE klemm – ESP8266 käivitamiseks unerežiimist.



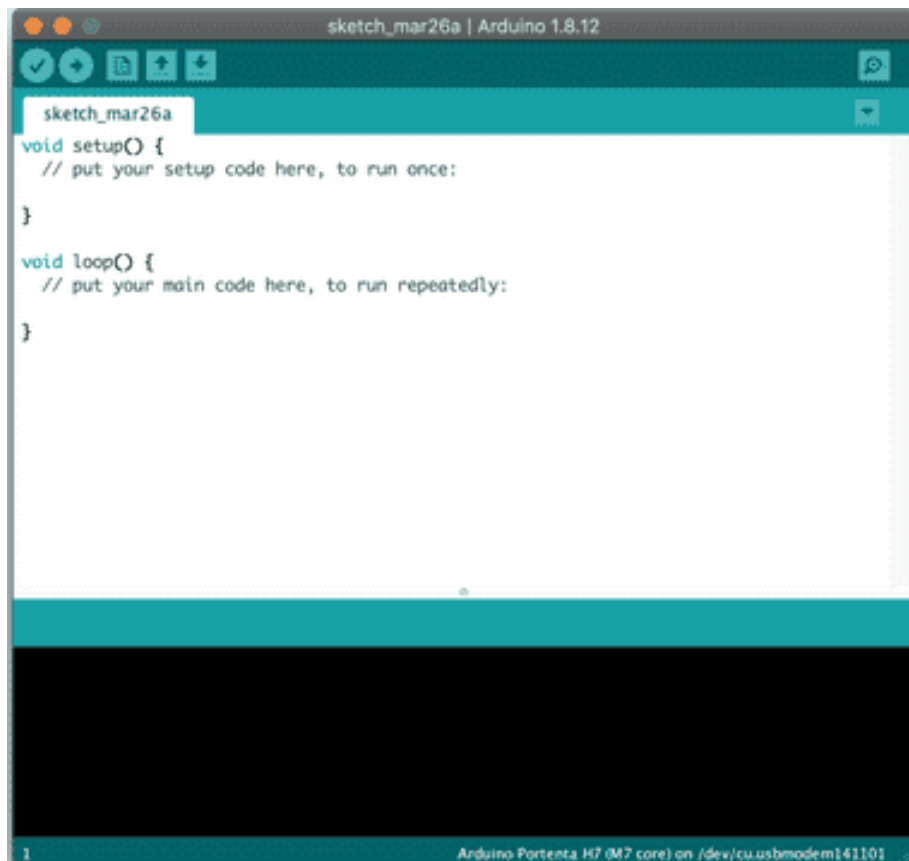
Joonis 2.1. ESP8266 *NodeMCU* ühendusklemmid [8]

Jadapordi sillana kasutatakse antud arendusplaadil *Silicon Labs* CP2102 mikrokontrollerit, mis võimaldab arvutist läbi USB arendusplaadile programme laadida ning sellega suhelda. Programmide kirjutamiseks ning arendusplaadile laadimiseks on võimalus kasutada näiteks Espruino või Mongoose OS tarkvara. Kuna tegemist on ühe odavaima *WiFi* võimekusega arendusplaadiga, siis on selle ümber tekkinud kogukond loonud võimaluse arendusplaat lisada Arduino *IDE* keskkonda, mis lihtsustab arendusplaadi kasutamist inimestele, kes programmeerimist alles õpivad. [8]

2.2. Arduino IDE

Arduino IDE (*Integrated Development Environment*) on Arduino firma poolt loodud vabavaraline Java platvormil töötav programmeerimiskeskond, mis võimaldab programmi kirjutamiseks kasutada tekstiredaktorit. Tekstiredaktoris kirjutatud programmi kutsutakse *sketch*-iks või visandiks. Keskkonnas on olemas eraldi konsool, kirjutatud koodis tekkinud vigade ja protsessistaatuste kuvamiseks. Arduino IDE kasutab võimaldab kirjutada C ja C++ programmeerimiskeeltes. Sisuliselt koosneb Arduino IDE kahest osast redaktorist ja kompilaatorist. Kompilaatori ülesanne on kompileerida ja laadida kirjutatud programm ülesse valitud arendusplaadile. Keskkonna kasutajaliidese keelt on võimalik muuta ning valikute seas on olemas ka eesti keel, mis muudab platvormi kasutamise oluliselt lihtsamaks. [9]

Arduino IDE pakub võimalust lisada visandisse teeke, mida on võimalik alla laadida keskkonnas olevast teegi-haldurist. Teegid on kirjutatud samuti C ja C++ programmeerimiskeeltes ning võimaldavad lihtsalt kirjutatud programmile funktsioone lisada. Jadapordi monitori saab kasutada arendusplaadiga suhtlemiseks ning sellelt saadud andmete kuvamiseks. Üheks väga oluliseks Arduino IDE eeliseks on kolmandate osapoolte riistvara toetamine, mis võimaldab keskkonda kasutada ka paljude teiste firmade poolt toodetud arendusplaatidega. Kolmanda osapoole arendusplaadi saab Arduino IDE keskkonda seadistada juhul, kui tootja firma on selle võimaldanud ning taganud mikrokontrolleri alglaaduri käsu. [9]



Joonis 2.1. Arduino *IDE* 1.8.12 programmeerimiskeskond [9]

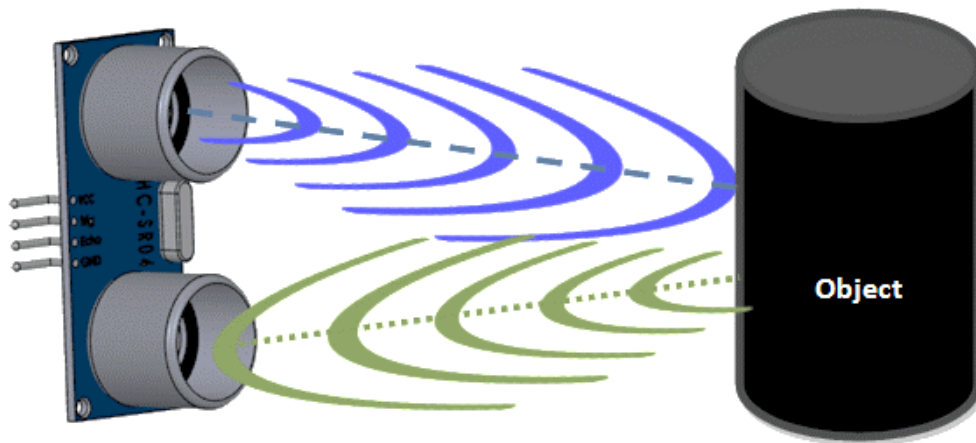
Arduino *IDE* on üsna populaarne programmeerimiskeskond, sest tegemist on vabavaraga ning programmikirjutamine on muudetud võimalikult lihtsaks. *Arduino* on loonud arvukalt materjale, mis aitavad programmeerimiskeskonda mõista ning kust on võimalik vajadusel abi otsida. [9]

2.3. Andurid

2.3.1. Ultraheli kaugusandur HC-SR04

Ultraheli kaugusandur HC-SR04 kasutab kauguse mõõtmiseks kajaloodi põhimõtet. Anduri mõõtevahemik on andmelehe järgi 2 cm – 400 cm, kuid reaalsuses jääb efektiivne mõõtevahemik 2 cm – 80 cm vahele. Anduri täpsus on 0,3 cm ning mõõdetava pinna ja anduri vaheline nurk peab mõõtmiseks olema alla 15°. Andur töötab pingel 5V ning voolutarbega kuni 15 mA. [10]

Anduril on nii saatja kui vastuvõtja mis on ehituslikult identsed. Anduriga mõõtmiseks, pingestatakse saatja moodul $10\ \mu\text{s}$ pikkuseks perioodiks, mis edastab andurile käsu mõõtmist alustada. Seejärel saadetakse välja 8 helilaine pulssi, sagedusega 40 kHz. Helilaine jõudmisel vastuvõtjani registreeritakse selles tekkinud impulss ning sellega koos aeg, mis kulus laine väljasaatmisest kuni hetkeni, millal vastuvõtja tagasipeegeldunud laine registreeris. Kogutud informatsiooni põhjal on mikrokontroller võimeline välja arvutama helilaine peegeldanud objekti kauguse, arvestades eelnevalt ette antud helikiirust. [10]



Joonis 2.2. Ultraheli kaugusanduri HC – SR04 tööpõhimõte [10]

Mikrokontrolleriga suhtlemiseks kasutab andur kahte ühendust Trig ja Echo. Teised kaks anduril olevat ühendust on Vcc ja Gnd vastavalt 5V toide ja maanduse jaoks. [10] Kuigi anduri andmelehel on toitepingeks märgitud 5V, siis katsetamise käigus leiti, et kasutatud ultraheli kaugusandur väljastas andmeid ka toitepingel 3,3V, kuid sellega vähenes anduri maksimaalne mõõdetav kaugus.

3. SADEMETE KAUDNE MÕÕTMINE TEHNIKAMAJAS

3.1. Vihmavee kogumispindala mõõtmine

Et mõõta sademeid Eesti Maaülikooli tehnikamajas otsustasin kasutada katlalaboris juba olemasolevat sademevee kogumissüsteemi. Katlalaboris asub 2 m³ suurune mahuti vihmavee kogumiseks. Mahuti on ühendatud katusel asuva sajuvee äravoolu drenaaži külge. Sademete kogumise ala suurus määrati Maa-ameti geoportaalis oleva kaardirakenduse ning keskkonnas oleva pindala mõõtmise töövahendiga (joonis 3.1.). Varasemalt oli teada, et sajuvee valgla ala algab hoone katuse otsast ning lõpeb kahe katusel oleva ventilatsiooniavaga samal joonel. Nimetatud ventilatsiooniavad on geoportaalis oleva kaardirakenduse ortofotolt üsna selgesti näha ning see võimaldab valgla pindala leida rahuldava täpsusega.

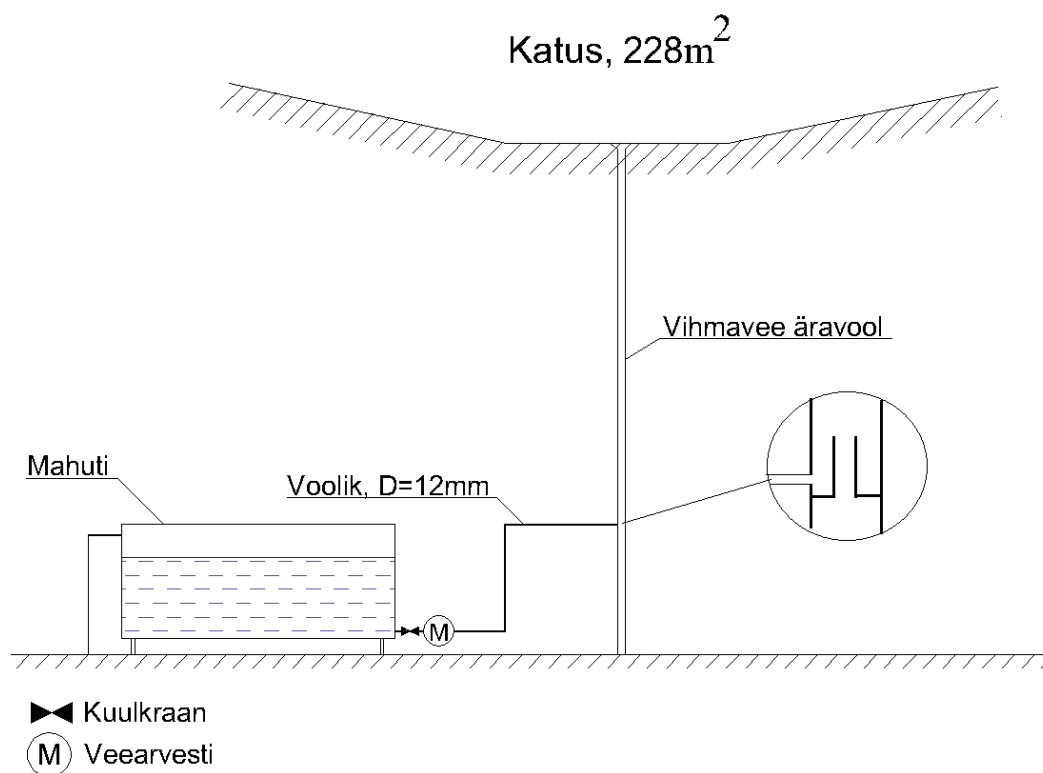


Joonis 3.1. Maa-ameti geoportaali kaardirakendusest leitud valgla pindala. [11]

Toetudes nendele andmetele, saadi katusel oleva vihmavee kogumispindalaks 228.11 m² mis on edasises koostatud programmis ja selle arvutustes ümardatud 228 m²-ks.

3.2. Sademete kogumissüsteem Eesti Maaülikooli tehnikamajas

Eesti Maaülikooli tehnikamajas kogutakse sademeid katuselt, pindalaga 228 m². Sademevee kogumine toimub äravoolutorust, kuhu on selleks lisatud kogumissõlm. Kogumissõlmest jõuab vihmavesi mahutisse läbi 12 mm diameetriga vooliku. Vahetult enne mahutit on süsteemi lisatud veearvesti, siseneva veekoguse mõõtmiseks ning kuulkraan, millega on vajadusel võimalik sademete kogumine peatada. Mahutisse on maksimaalselt võimalik koguda 2000 liitrit sademevett. Mahutile on paigaldatud ka ülevoolutoru, mis suunab ülevoolu korral lisandunud sajuvee edasi дренаaži.



Joonis 3.2. Vihmavee kogumissüsteemi põhimõttejoonis.

Kogumissüsteem asub Eesti Maaülikooli tehnikamaja katlalaboris ning on hetkel kasutusel uurimaks vihmavee kasutusvõimalusi katelseadmetes, selle vähese kaltsiumi ja magneesiumi sisalduse tõttu.

20.05.2021. seisuga õpib tehnikamajas kokku 298 õpilast. Eeldades, et 50% õpilastest käiks iga päev tualetis ning kasutaks selle käigus 6 liitrit vett, oleks igakuine veekulu tualettide arvelt $29,520 \text{ m}^3$ vett. Kogu tehnikamaja katuse pinda on Maa – ameti kaardirakenduselt mõõdetuna 1686 m^2 . Kasutades andmeid riigi ilmateenistusest, kuu keskmise sademete hulga kohta ajaperioodil 1991-2020, saab leida potentsiaalse vihmavee hulga, mis on kogutud kuu aja jooksul tehnikamaja katuselt (tabel 3.1.).

Tabel 3.1. Potentsiaalne kogutav kuine veehulk tehnikamaja katuselt

kuu	keskmise sademehulk, mm	kogutav veehulk 80%, m^3	Teoreetiline tualettides kasutatav kuine veehulk, m^3 , tualeti kasutusega		
			100%	70%	50%
September	55	74,1	59,0	41,3	29,5
Märts	36	48,6			
Aprill	35	47,2			
Mai	54	72,8			

Tabelis on kogutava veehulga arvutamisel võetud arvesse 20% sajuvee kadu kogumisel. Sellegi poolest on tabeli andmetest näha, et kuu jooksul kogutud vihmavee hulk oleks piisav, et tehnikamaja tualettides teoreetiliselt kasutatava vee hulk katta. Sajuvee kogumiseks kasutatav mahuti võiks teoreetiliste andmete kohaselt olla vähemalt 80 m^3 , et tagada kogu potentsiaalse vihmavee kogumine.

Tehnikamaja 2016 – 2018 aasta keskmine veekulu on 832 m^3 . Kui aastas arvestada tabelis 3.1. toodud nelja kuu summaarse kogutud sademete hulgaga ($242,8 \text{ m}^3$), siis moodustab kogutud sademete hulk tehnikamaja keskmisest aasta veekulust 29%. Kuigi arvutatud protsent on teoreetiline on see piisavalt suur, et valdkonda lähemalt uurida. Samuti on võimalik, et kokkuhoid oleks märgatav ka majanduslikult poolelt. Lisaks ei ole arvutustes võetud arvesse kuid, kus sademed on tahkel kujul, mille sulamisest tekkinud vesi oleks siiski kogutav.

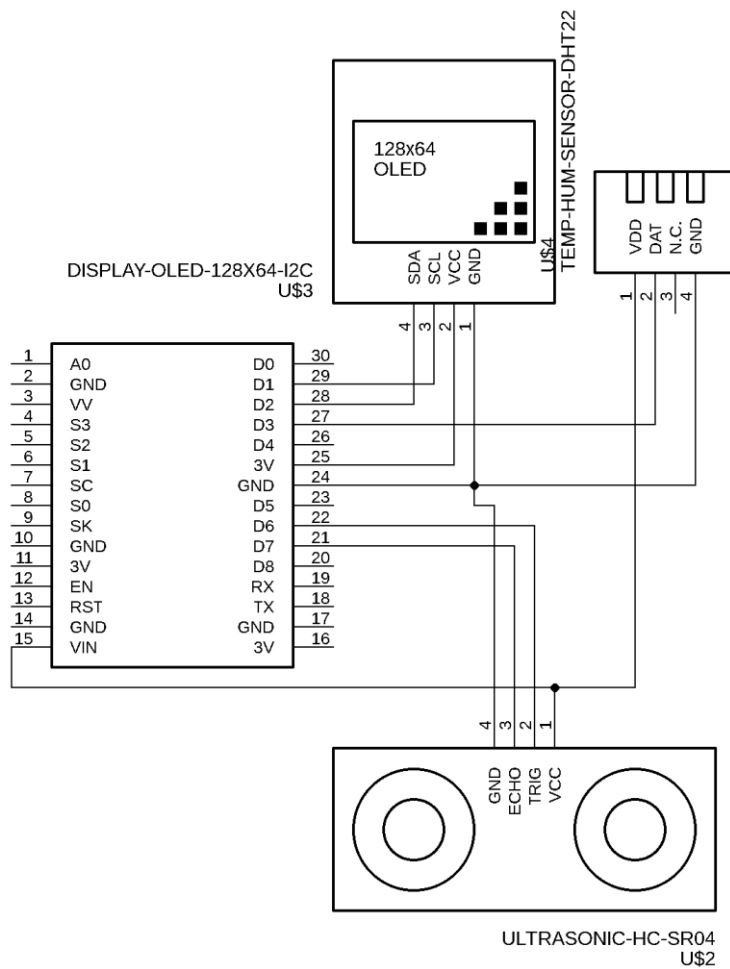
3.3. Mõõteseadme ehitamine

Vee taseme mõõtmiseks katlalaboris olevas mahutis kasutati arendusplaati *NodeMCU* ESP8266. Nimetatud arendusplaat sai valitud põhjusel, et arendusplaadil on olemas *WiFi* võimekus ning seega saab luua mõõteseadme mille tulemusi oleks võimalik läbi serveri reaalajas jälgida. Ühtlasi on tegemist ühe odavaima arendusplaadiga, millel on olemas *WiFi* võimekus ning võimalus programmeerida mikrokontrollerit kasutades *Arduino IDE* keskkonda.

Vedeliku taseme mõõtmiseks mahutites, kasutatakse väga sageli just ultraheli kaugusandureid. Sellest lähtudes, valiti ka antud lõputöö raames mahuti veetaseme mõõtmiseks ultraheliandur HC – SR04. Valitud kaugusandur on odav ning üsnagi populaarne valik lihtsamate kauguse mõõtmist vajavate projektide arendamisel. Andmelehel on viidatud valitud anduri mõõtetäpsuseks 0,3 cm ning mõõtevahemikuks 2 cm – 400 cm, mis on andurile planeeritud ülesande jaoks piisav.

Arendusplaadi ja kaugusanduri katsetamiseks loodi skeem vastavalt joonisele 3.3. Katseskeemile lisati OLED I2C ekraan, mis võimaldaks seadme katsetamise ajal mõõtetulemusi kergemini ja kiiremini lugeda.

Seadme katsetamisel kasutati ka DHT22 temperatuuri ja niiskuse andurit, mis võimaldaks pidevalt arvutada heli kiirust sõltuvalt keskkonna temperatuurist ja suhtelisest õhuniiskusest ning seega tagada täpsemad mõõtmistulemused.



Joonis 3.3. Mõõteseadme katseskeem.

Vastavalt mõõdetud temperatuurile ja niiskusele, saab helikiiruse keskkonnas arvutada järgmise valemiga:

$$v = 331,3 + (0.606 \cdot t) + (0,0124 \cdot r) \quad (1).$$

kus t on mõõdetud temperatuur ning r suhteline õhuniiskus.

Mõõteseadme katsetamiseks tehti vajalikud ühendused maketeerimislauale (joonis 3.4.).



Joonis 3.4. Koostatud katseskeem.

Mõõtmisteks valmistatud katseseadme ehitusest eemaldati OLED ekraan ja temperatuuri ja niiskusandur. Kuna seade laeb andmeid regulaarselt serverisse ning üheks põhieesmärgiks oli mõõteandmete kättesaadavus serverist ka väljaspool tehnikamaja, siis ei ole seadmele ekraani lisamine kuigi oluline. Niiskuse ja temperatuuriandur jäeti paigaldatud mõõtmisseadmest kõrvale, sest testimise käigus selgus, et sentimeetri täpsusega mõõtmiste juures ei paranda andur oluliselt mõõtmistäpsust ning põhjustab pigem andmete suuremat kõikumist õhuniiskuse muutumisel.

Seega koosnes paigaldatud mõõteseade vaid arendusplaadist ning sellega ühendatud ultraheli kaugusandurist. Komponendid paigutati plastikust karpi, et kaitsta seadet ning eelkõige arendusplaati tekkiva niiskuse eest. Mõõteseadme mõõtmed olid üsnagi väiksed ning seadme toitmiseks oli vajalik vaid üks juhe. Vajadusel oleks võimalik seadmele paigaldada aku, mis võimaldaks seadet lihtsasti kasutada sademete hulga mõõtmiseks ka teistes mahutites või anumates, muutes programmis vaid veetaseme tõusule vastava sademete hulga konstandi.

3.3.1. Mõõteprogramm

Mikrokontrollerile kirjutatava programmi kirjutamiseks ning selle peale laadimiseks valiti *Arduino IDE* keskkond. Antud keskkond osutus valituks, sest tegemist on ühe lihtsaima arenduskeskkonnaga ning ühtlasi on *Arduino IDE* keskkonnaga olnud varasemaid kokkupuuteid, mis muutis programmeerimisprotsessi veidi mugavamaks.

Arendusplaadile kirjutatud programmis kasutati ultraheliandurilt andmete lugemiseks, *WiFi* võrgu loomiseks ja andmete serverisse saatmiseks *Arduino IDE* keskkonnas olemasolevaid teeke. Teekide lisamiseks on vaja need alla laadida, kasutades keskkonnas olevat otsingumootorit. Programmi visandisse teekide lisamiseks kasutatakse *#include* käsku, millele järgneb vastava teegi nimi koos *.h* järjendiga. Teekide nimed ja järjendid võib kirjutada kas jutumärkide või *< >* sümbolite vahele (joonis 3.5.).

```
1  #include "ThingsBoard.h"
2  #include <ESP8266WiFi.h>
3  #include <Ultrasonic.h>
```

Joonis 3.5. Visandisse lisatud teegid.

Järgmise sammuna defineeritakse programmis *WiFi* võrgu nimi (*WIFI_AP*), parool (*WIFI_PASSWORD*) ning *Thingsboardi* keskkonnas loodud serveri aadress (*THINGSBOARD_SERVER*) kui ka sinna lisatud seadme võti (*TOKEN*). Lisaks defineeritakse jadapordi suhtluseks kasutatav boodikiirus (*SERIAL_DEBUG_BAUD*) (joonis 3.6.).

```
5  #define WIFI_AP           "EMYap"
6  #define WIFI_PASSWORD    ""
7  #define TOKEN             "lkitY7m02nRIQa70av0J"
8  #define THINGSBOARD_SERVER "informatics2.emu.ee"
9  #define SERIAL_DEBUG_BAUD 115200
```

Joonis 3.6. Programmis defineeritud muutujad.

Ultraheli kaugusanduriga suhtlemiseks kasutatavale teegile antakse järgmisena ette anduri kahe andmeklemmi Trig ja Echo ühendused arendusplaadil vastavalt D5 ja D6. Seda tehakse käsuga *Ultrasonic ultrasonic(D5, D6)*.

Järgmisena on programmis etteantud kõik visandis kasutatud globaalsed muutujad. Selleks on esmalt määratud muutuja tüüp kas *int* (*integer* ehk täisarv) või *float* (*floating point* ehk ujukomaarv). Kuna kasutusel oleva kaugusanduri soovitud samm on jäetud 1cm piiresse, siis on muutujad, milleks on kaugus ja veetase, määratud täisarv tüübiga ning arvutatud sademevee kogus millimeetrites on defineeritud ujukomaarvuks, sest seal toimuv arvutamine käib kolme komakoha piires (joonis 3.7.).

```
13  int kaugus;
14  int veetase;
15  float mmruut;
16  float mmruut2;
17  float mmruut3;
18  int veetase2;
19  float dmmmin;
20  float dmmmin5;
21  int kaugusteSUM;
22  int periood = 0;
23  int periood5min = 0;
```

Joonis 3.7. Programmis defineeritud globaalsed muutujad.

Enne põhiprogrammini jõudmist käivitatakse *WiFi*kliendi teek (*WiFiClient espClient*) ning *Thingsboard*-i teek (*ThingsBoard tb(espClient)*). Tuleb defineerida ka *WiFi* staatuse muutuja.

Programmi esimeses osas käivitatakse suhtlus jadapordiga, käivitatakse *WiFi* võrk, mille ajal käitatakse funktsioon *InitWiFi()*, mis annab jadapordi kaudu tagasisidet *WiFi* võrguga ühendumise staatusest. Programmi käivitusosas tehakse ka esimene mõõtmine, et määrata algväärtused, mida kasutatakse hiljem programmis esimeste arvutuste tegemiseks (joonis 3.8.).

```
29  void setup() {
30      Serial.begin(SERIAL_DEBUG_BAUD);
31      WiFi.begin(WIFI_AP, WIFI_PASSWORD);
32      pinMode(LED_BUILTIN, OUTPUT);
33      InitWiFi();
34      delay(1000);
35      kaugus = ultrasonic.read();
36      delay(20);
37      veetase = 96 - kaugus;
38      mmruut3 = veetase * 0.087;
39      mmruut2 = veetase * 0.087;
```

Joonis 3.8. Ühekordselt teostatavad käsud programmi käivitamisel.

Funktsiooniga *void loop* () algab põhiprogramm, kus toimuvad kõik mõõtmised, arvutused ja saadud tulemuste saatmine serverile (joonis 3.9.). Kõigepealt nullitakse muutuja *mmmin*, et tagada antud muutujaga tehtud arvutuste õigsus. Programmi algusesse on lisatud 7998 millisekundi pikkune viivitus. Kuna mikroprotsessoril oleks võimekus programmitsükkel läbida väga lühikese ajaga, ning mõõtetulemusi tekiks ülearuselt palju, on programmi kirjutatud viivitused arvestatud nii, et uued andmed kauguse ja veetaseme kohta laetakse ülesse iga 10 sekundi järel. Esimene oluline osa programmis on ultraheli kaugusandurilt andmete kogumine. Selleks, et anduri mõõtmisi veidi stabiliseerida, tehakse 2 sekundi jooksul kaugusanduriga 100 mõõtmist ning edasi võetakse arvesse nende keskmist tulemust. Mahuti veetase arvutatakse lahutustehtega, kus eelnevalt mõõdetud mahuti sügavusest lahutatakse mõõdetud kauguste keskmine väärtus.

Arvestades, et tehnikamaja katusel oleva sajuvee kogumispindala on 228 m² ning 1cm veetaseme kasvu vastab mahutis 20-le liitrile veele, siis sademete hulga arvutamiseks saab kasutada järgnevat valemit:

$$mm = H_{veetase} \cdot \frac{V_{cm}}{A_{katus}} \quad (2).$$

kus $H_{veetase}$ on mõõtetulemusest arvutatud mahutis olev veetase, V_{cm} on 1cm veetaseme tõusule vastav vee maht liitrites ning A_{katus} on sajuvee kogumise pindala ruutmeetrites.

Programmi töö lihtsustamiseks on viimane jagamistehe eelnevalt välja arvutatud ning kuna vee maht ja kogumispindala jäävad alati samaks, siis on see programmi lisatud konstandina 0,087.

Programmi on lisatud kaks tingimust ning iga tsükliga kasvavat muutujat. Nende abil on kujundatud andmete laadimine serverisse vastavalt viie ja kuuekümneminutiliste vahedega. Seega saadetakse serverisse juba arvutatud sademete hulk, mis on saadud tunni aja jooksul tekkinud veetaseme muudust. Kogu visandit on võimalik vaadata lisast 1.


```

43 void loop() {
44     dmmmin = 0;
45     delay(7998);
46     for (int kordus = 0; kordus <= 99; kordus++){
47         kaugus = ultrasonic.read();
48         delay(20);
49         kaugusteSUM = kaugusteSUM + kaugus;
50     }
51     kaugus = kaugusteSUM/100;
52     kaugusteSUM = 0;
53     veetase = 96 - kaugus;
54     mmruut = veetase * 0.087;
55     periood = periood + 1;
56     perioodmin = perioodmin +1;
57
58     if (perioodmin == 29){
59         dmmmin5 = mmruut - mmruut3;
60         mmruut3 = mmruut;
61         tb.sendTelemetryFloat("5 min sademed", dmmmin5);
62         SUMveetase = 0;
63         periood5min = 0;
64     }
65
66     if (periood == 359){
67         dmmmin = mmruut - mmruut2;
68         mmruut2 = mmruut;
69         tb.sendTelemetryFloat("60 min sademed", dmmmin);
70         periood = 0;
71     }

```

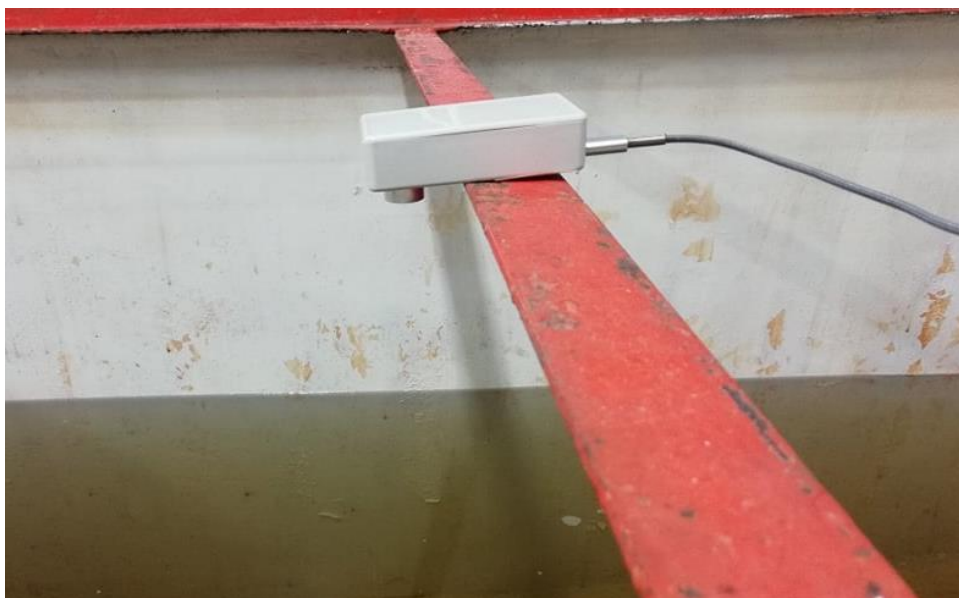
Joonis 3.9. Mõõteseadme põhiprogramm.

Põhiprogrammi lõpus saadetakse mõõdetud ja arvutatud andmed serverisse, kus need kuvatakse edasi graafikul. Lisaks on programmis kirjutatud funktsioonid, mille ülesanneteks on seade *WiFi* võrguga selle katkemisel taas ühendada ning kuvada võrguga ühendamisel staatuse infot läbi jadapordi.

Põhiprogrammi ühe tsükli läbimiseks kulub 10 sekundit, kuid hiljem selgus katse käigus, et see ei pruugi alati tõele vastata. Kuna ultraheli kaugusanduriga tehtavatel mõõtmistel ei ole ajapiirangut, siis võib see tsükli läbimiseks kuluvat aega pikendada.

3.4. Mõõteseadme katsetamine

Mõõtmiste teostamiseks paigaldati mõõteseadme tehnikamaja katlalaboris oleva mahuti kohale nii, et ultraheli kaugusandur oleks veetasemega võimalikult risti (joonis 3.9.). Katseseade paigaldati plastikust karpi, et kaitsta seadet ning eelkõige arendusplaati niiskuse eest. Katsetamise ajal kasutati toitesisendina seadmel olevat jadaporti. Seadme poolt tehtud mõõtmistulemused laeti perioodiliselt ülesse *Thingsboard* keskkonnas tekitatud serverisse. Antud keskkonnas on hõlpsasti võimalik reaalajas vastuvõetud andmeid graafiliselt kuvada.

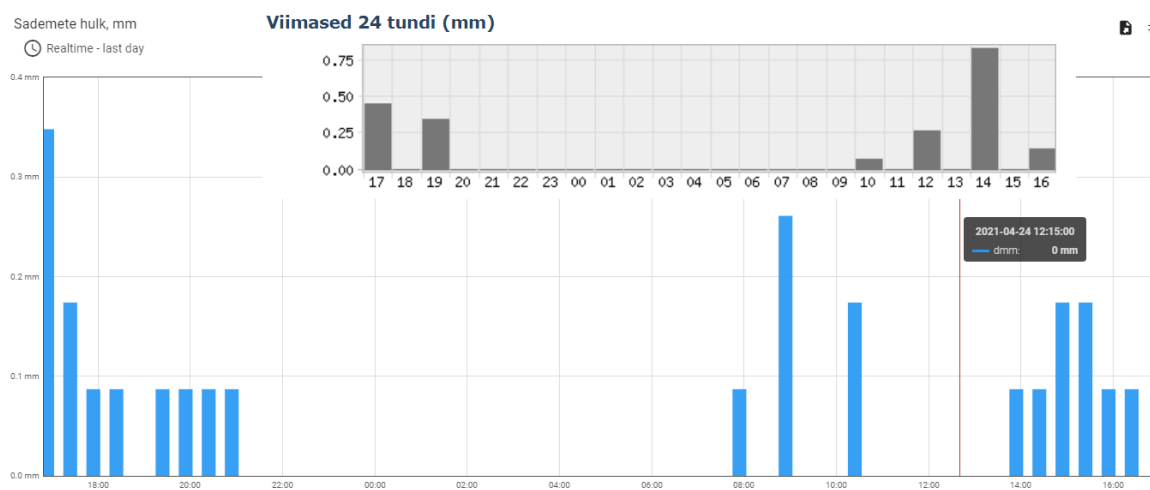


Joonis 3.10. Paigaldatud mõõteseadme.

Seadme ühendamiseks *WiFi* võrku kasutati tehnikamajas olevat vaba võrku. Mõõdetud andmeid laeti serverisse kolmel erineval ajal. *Thingsboard* keskkonnas loodi kaks peamist graafikut – veetaseme tase ja kaugus (joonis 3.13.) ning arvutatud sademete kogus millimeetrites (joonis 3.15.). Veetaseme taseme ja kauguse andmeid uuendati iga 10 sekundi järel ning arvutatud sademete kogust iga tunni järel. Sademete hulk kuvatakse kahe komakoha täpsusega, sest vastavalt kaugusanduri mõõtetäpsusele, saab sademeid mõõta 0,09 mm täpsusega.

Mõõtetulemuste võrdlemiseks kasutati Tartu Ülikooli füüsika instituudi keskkonnalabori ilmajaama andmeid, mis on avalikult kättesaadavad veebilehel *meteo.physic.ut.ee*. Ilmajaam asub tehnikamajast linnulennult 2,5 km kaugusel.

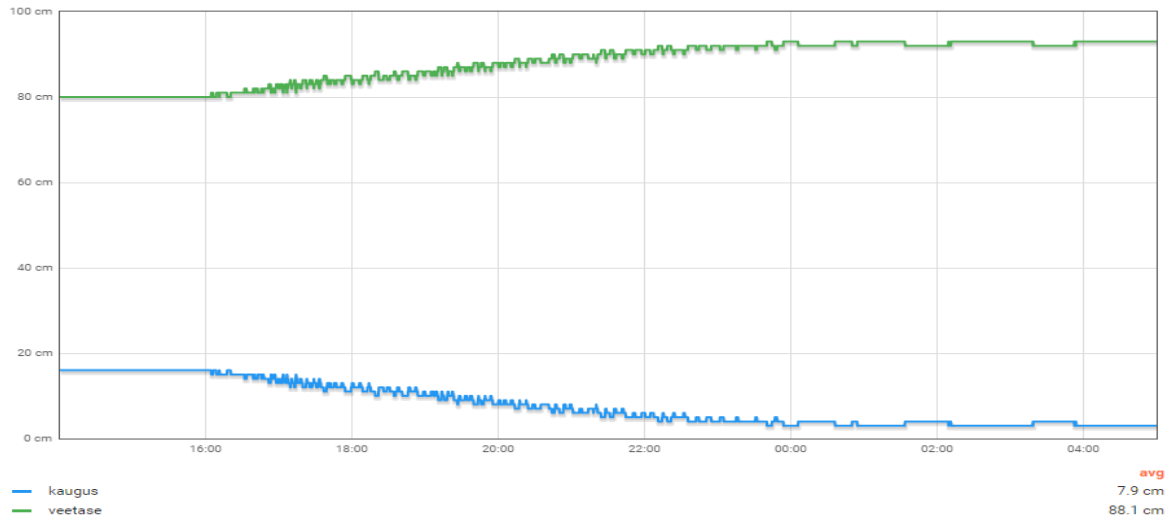
Esimesed sademete mõõtmised tehti 23. – 24. aprillil. Esimesel katsel kasutatud seadme põhiprogrammis tehti 50 mõõtmist 1 minuti jooksul ning arvutati selle aja jooksul tekkinud veetaseme muut. Tulemus korrutati varasemalt leitud konstandiga 0,087 ning saadud sajuvee millimeetrite arv saadeti serverisse minutilise perioodiga. Seega oli *Thingsboard* keskkonnas võimalik valida mõõdetud sademete ajavahemik kuni minuti täpsusega. Joonisel 3.11. on näha, et Tartu Ülikooli füüsika instituudi ilmajaamast saadud andmed on tehnikamajas mõõdetud andmetega üsnagi sarnased. Sellegi poolest leiti, et kirjeldatud mõõtmisviisi kasutades tekib mõõtmistes suur viga. Vihmavee jõudmisel mahutisse, hakkavad ultraheli kaugusandurilt saadud mõõtetulemused kõikuma 1cm piires. Sellest tulenevalt võib programm väljastada sademete hulga tulemuseks 0,09 mm, mis ei vasta tegelikkusele. Sademete hulga lõplikul kuvamisel liidetakse kõik minutilise perioodiga mõõdetud tulemused kokku ning kuvatakse graafikul tulbana, mille väärtus võib mõõtevigade liitmisel tegelikkusest suuresti erineda.



Joonis 3.11. Tehnikamajas ja füüsika instituudis tehtud mõõtmiste võrdlus.

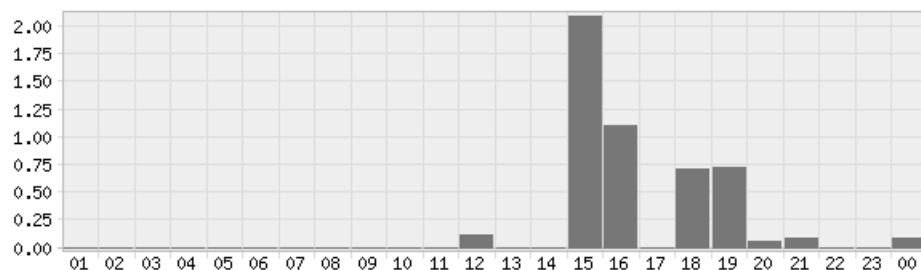
Kirjeldatud probleemi lahendamiseks parandati programmi nii, et mõõtmised tehtaks lühema aja jooksul ning veetaseme muut arvutataks perioodiga 1 tund. See tagab oluliselt parema mõõtetulemuse mille maksimaalne viga on 0,9 mm. Sellise lähenemise miinuseks on mõõtetulemuste kuvamine tunniajase resolutsiooniga. Järgmised katsed tehti muudetud programmiga.

Joonisel 3.13. on näha mõõdetud veetaseme kaugus ja tase ajavahemikul 06.05 – 07.05. Antud aja jooksul on mahuti veetase tõusnud 13 cm, mis vastab 260-le liitrile sajuveele. Katse käigus leiti, et sademevee lisandumisel mahutisse, hakkavad mõõtetulemused kõikumama umbes 1cm ulatuses. Selline kõikumine võib olla tingitud mahutisse vee lisandumisel tekkivast kergest lainetusest.

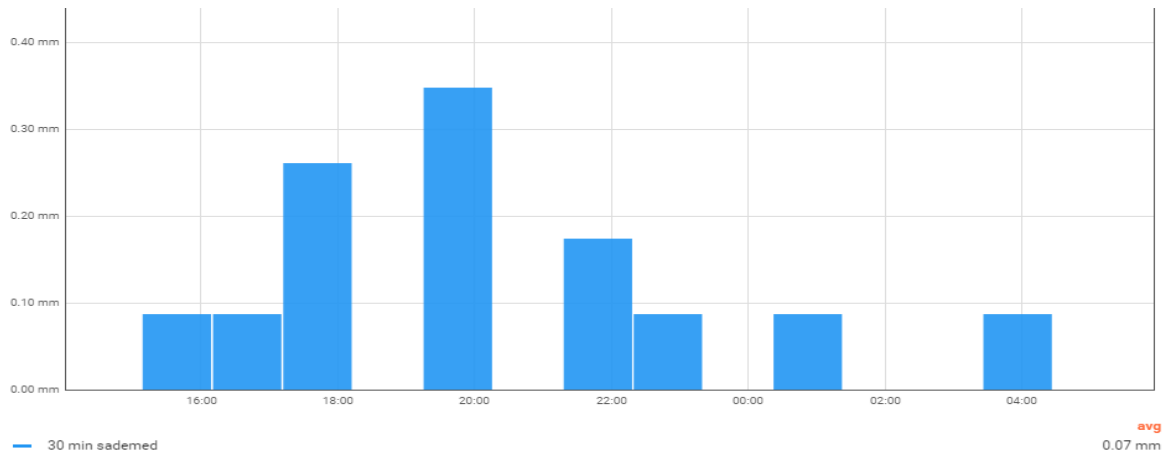


Joonis 3.13. Mahuti veetaseme mõõtetulemused ajavahemikus 06.05. – 07.05.

Võrreldes saadud andmeid Tartu Ülikooli füüsika instituudi ilmajaama andmetega on näha, et sademete mõõtetulemused on väga erinevad. Tehnikamajas tehtud mõõtmiste kohaselt on saju algus kell 16.00, kuid füüsika instituudi andmetel on ajavahemikus 15.00 – 16.00 sadanud juba üle 2 mm (joonis 3.14.). Kuna mõõtmispunktide vahe on 2,5 km, siis ei saa andmeid võrrelda üks ühele ning ajad võivad veidi erineda. Siiski on nii suur saju hulga erinevus ebatõenäoline ning vihjab probleemile mõõtmissüsteemis.



Joonis 3.14. Tartu Ülikooli füüsika instituudi ilmajaama andmed 06.05.2021. [13]



Joonis 3.15. Sademete hulga mõõtetulemused ajavahemikus 05.05. – 07.05.

Thingsboard keskkonnas kuvatud sademete hulgad ei laeku täpselt täistundidele (joonis 3.15.). Selline nihe on tingitud programmi käivitamise ajast. Programmis on loodud sisuliselt taimer ning andmed laetakse ülesse tunnise ajavahega, kuid seade ise kellaaega ei tunne. Sellest tulenevalt võib tunni aja jooksul tekkida programmi käitamise rütmis ebakõlasid ning andmete üleslaadimise aeg võib viibida kuni poolteist minutit.

Viga mõõtmisel on üsnagi konstantne. Ühtlase saju korral ei suudetud lugeda kordagi suuremat saju hulka kui 0,36 mm/h. Antud viga on ilmselt põhjustatud sajuvee äravoolutoru ning mahuti vahel oleva vooliku maksimaalsest vooluhulgast (joonis 3.2.). Ühtlase tugeva saju korral jälgiti enne mahutit olevat veearvestit ning leiti, et vooluhulk voolikus oli veidi üle 1 l/min. Seega jõuab mahutisse ühtlase saju korral tunni aja jooksul maksimaalselt umbes 70 – 80 liitrit sajuvett. 0,36 mm vastab tehnikamaja kogumissüsteemis 80 liitrile sajuveele ehk 4 cm veetaseme kasvule.

4. TULEMUSTE ANALÜÜS

Seadme katseperioodil tehtud mõõtmistest saab järeldada, et antud sademete mõõteviis on võimalik vaid sobivatel tingimustel. Mõõteandmed tõestavad idee võimalikku potentsiaali, sademete kaudseks mõõtmiseks vihmavee kogumismahutites. Eesmärgini luua seade, millega oleks võimalik mõõta sademeid tehnikamaja taristul, kasutades selleks Maaülikooli katlalaboris olevat sajuvee kogumissüsteemi, täielikult ei jõutud.

Katlalaboris olev sajuvee kogumissüsteem ei ole sobilik katsetatud lahendusega sademete mõõtmiseks. Nimelt takistab sellisel viisil sademete mõõtmist kõige rohkem kogumissõlme ja mahuti vahel oleva vooliku maksimaalne saavutatav vooluhulk. Juhul kui vihmajärg intensiivsus on suurem kui 0,35 mm/h, ei suuda voolik katuselt valguvat veekogust piisavalt kiiresti mahutisse juhtida ning kogumissõlmes tekib ülevool. Selle tulemusel läheb suur osa sadeveest drenaaži kaudu kaduma ning mõõtetulemused ei ole sellest hetkest enam sobivad.

Sellisel viisil sademete mõõtmine oleks võimalik juhul, kui mahutisse jõudev vee kogus ei ole piiratud ning sajuvee äravoolutoru oleks otseselt ühendatud mahutiga. Sademevee äravoolutoru otsesel ühendamisel mahutiga tuleks mahutile kindlasti paigaldada ka sobiva suurusega ülevoolutoru, mis suunaks mahuti maksimaalsel täitumisel sademevee drenaaži. Mahuti maksimaalsel täitumisel, ei ole võimalik sademeid mõõta. Seetõttu võiks mahutis olev vesi olla pidevas kasutuses. Võimalus on ka mahutit perioodiliselt tühjendada, mida saab teostada ka automatiseeritult mahuti kindla veetaseme väärtuse korral.

Mõõteseadmele kirjutatud programmi oleks võimalik parandada, et tagada parem mõõtmiste resolutsioon ning võimaldada sademete mõõtmine ka juhul, kui mahutit aeg-ajalt tühjendatakse.

KOKKUVÕTE

Arvestades linnade asustuse suurenemist ning rahvaarvu pidevat kasvu, siis on igasugune vee taaskasutamine ja säästmine oluline. Suurte pindaladega hooned loovad võimaluse efektiivseks vihmavee kogumiseks ning leidub juba arvukalt näiteid vihmavee kogumisest ning selle kasutamisest tualettides ja kastmissüsteemides. Seega on oluline uurida nende kogumissüsteemide võimalusi ning viise kuidas nendes mahutatavat vett oleks võimalik monitoorida.

Hüdroenergiat on elektri tootmiseks kasutatud juba sajandeid, kuid selle kasutamiseks on vajalik kõrguste potentsiaal, mida Eestis ja paljudes teistes Euroopa riikides looduslikult ei leidu. Sellegi poolest, leidub ka teisi võimalusi vee kasutamiseks energeetikas. Näiteks vihmavee kogumine ning selle kasutamine puhastatud trassivee säästmiseks või katelseadmetes soojuskandjana.

Käesolevas töös prooviti ehitada mõõteseade Eesti Maaülikooli tehnikamajas olevale vihmavee kogumissüsteemile. Loodud seadmega sooviti luua võimalus mahutis oleva vee kaudseks monitooringuks ning sademete hulga mõõtmiseks. Töö katselises pooles prooviti loodud mõõteseadmega mõõta sademeid kasutades tehnikamaja katlalaboris olevat vihmavee kogumissüsteemi.

Katse käigus tehtud mõõtmisi võrreldi Tartu ülikooli füüsika instituudi ilmajaama andmetega ning hinnati mõõteseadme toimivust. Tehtud mõõtmised näitasid, et loodud mõõteseade ei kogumissüsteemis suuteline mõõtma sademeid kui nende intensiivsus on suurem kui 0,35 mm/h. Antud probleem on tingitud kogumissõlme ja mahuti vahel olevast voolikust, mille läbimõõt ei võimalda piisavalt suurt vooluhulka ning kogu katuselt tulevat vihmavett ei salvestata.

Uurimustöö ja katselise osa käigus saadud tulemustest võib järeldada, et loodud mõõtesüsteem on võimeline sademeid mõõtma vaid juhul, kui mahutisse jõudev vee kogus ei ole piiratud ning kogu katuselt kogutud vihmavesi jõuab mahutisse.

KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] **J, S, Mun ja M, Y, Han.** 2011. Design and operational parameters of a rooftop rainwater harvesting system. [Võrgumaterjal]. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479711003410>. (14.04.2021)
- [2] **Villarreal. E. L. ja D. A.** 2004. Analysis of a rainwater collection system for domestic water supply in Ringdansen, Norrköping, Sweden. [Võrgumaterjal]. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360132304003178>. (10.04. 2021)
- [3] **R. Kärmas.** 2019. Sademevee lahenduste kavandamine. keskkonnaministeerium. (11.04.2021)
- [4] Mõõtmised maapinnal. 2020. [Võrgumaterjal]. <http://www.ilmateenistus.ee/ilmatarkus/mootetehnika/mootmised-maapinnal/sademed/>. (10.04. 2021)
- [5] World Meteorological Organization. 2010. Instruments and observing methods report no. 102. [Võrgumaterjal]. https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice_display&id=15528#.YCTQcWgzZhE. (02.02 .2021)
- [6] Microcontroller Development Boards. 2014. EFY Group. [Võrgumaterjal]. : <https://www.electronicsforu.com/buyers-guides/hardware-buyers-guide/microcontroller-development-boards/2>. (30.04.2021)
- [7] **P, Plaza . E, Sancristobal. G, Fernandez. M, Castro. ja C, Perez.** 2016. Collaborative Robotic Educational Tool based on Programmable Logic and Arduino. HW R&. Madrid. (25.02.2021)
- [8] Insight Into ESP8266 *NodeMCU* Features & Using It With Arduino *IDE*. 2021. [Võrgumaterjal]. : <https://lastminuteengineers.com/esp8266-nodemcu-arduino-tutorial/>. (25.02 .2021)
- [9] Arduino Software (*IDE*). 2021. Arduino. [Võrgumaterjal]. : <https://www.arduino.cc/en/Guide/Environment>. (24.02.2021)
- [10] HC-SR04 Ultrasonic Sensor. 2017. Components101. [Võrgumaterjal]. : <https://components101.com/sensors/ultrasonic-sensor-working-pinout-datasheet>. (20.03.2021)
- [11] Geoportaal. 2021. Maa-amet. [Võrgumaterjal]. : <https://geoportaal.maaamet.ee/est/Kaardirakendus-p2.html>. (20.03.2021).
- [13] Sademed. 2021. Tartu Ülikool. füüsika instituut. keskkonnanfüüsika labor. Tartu

SUMMARY

Given the constant high growth of cities and population density, any reuse and saving of water is important. Large-scale buildings provide an opportunity for efficient rainwater harvesting, and there are already numerous examples of rainwater harvesting systems and their use in toilets and irrigation systems. Therefore, it is important to study the possibilities of these collection systems and ways in which the water collected in them could be monitored.

Hydropower has been used to produce electricity for centuries, but it requires a potential height differential between two water levels, which is not found naturally in Estonia and many other European countries. However, there are other possible uses for water other than producing electricity. For example, collecting rainwater and using it to save purified mains water or as a heat carrier in boilers.

In the present work, an attempt was made to build a measuring device for the rainwater collection system in the technical building of the Estonian University of Life Sciences. The created device was intended to create an opportunity for indirect monitoring of the water in the collection tank and to measure the amount of precipitation. In the experimental part of the work, an attempt was made to measure precipitation with a measuring device using the rainwater collection system located in the boiler laboratory of the technical building.

The measurements made during the experiment were compared with the weather station data from the Institute of Physics of the University of Tartu and the performance of the measuring device was evaluated. The performed measurements showed that the created measuring device is not able to measure precipitation in the collection system if rainfall intensity is higher than 0.35mm/h. This problem is due to the hose between the collecting unit and the tank, the diameter of which does not allow a sufficiently large flow rate and all the rainwater coming from the roof is not stored.

From the results obtained during the research and the experimental part, it can be concluded that the created measuring device is able to measure precipitation only if the amount of water entering the collection tank is not limited and all of the rainwater collected from the roof would reach the tank.

LISAD

Lisa 1. Mõõteseadme programm

```
#include "ThingsBoard.h"
#include <ESP8266WiFi.h>
#include <Ultrasonic.h>

#define WIFI_AP          "EMYap"
#define WIFI_PASSWORD    ""
#define TOKEN            "lkitY7m02nRIQa70av0J"
#define THINGSBOARD_SERVER "informatics2.emu.ee"
#define SERIAL_DEBUG_BAUD 115200

Ultrasonic ultrasonic(D5, D6);

int kaugus;
int veetase;
float mmruut;
float mmruut2;
float mmruut3;
int veetase2;
float dmmmin;
float dmmmin5;
int kaugusteSUM;
int period = 0;
int period5min = 0;

WiFiClient espClient;
ThingsBoard tb(espClient);
int status = WL_IDLE_STATUS;

void setup() {
    Serial.begin(SERIAL_DEBUG_BAUD);
    WiFi.begin(WIFI_AP, WIFI_PASSWORD);
    pinMode(LED_BUILTIN, OUTPUT);
    InitWiFi();
    delay(1000);
    kaugus = ultrasonic.read();
    delay(20);
    veetase = 96 - kaugus;
    mmruut3 = veetase * 0.087;
    mmruut2 = veetase * 0.087;
}

void loop() {
    dmmmin = 0;
    delay(7998);
    for (int kordus = 0; kordus <= 99; kordus++){
```

Lisa 1 järg

```
kaugus = ultrasonic.read();
delay(20);
kaugusteSUM = kaugusteSUM + kaugus;
}
kaugus = kaugusteSUM/100;
kaugusteSUM = 0;
veetase = 96 - kaugus;
mmruut = veetase * 0.087;
period = period + 1;
periodmin = periodmin +1;

if (periodmin == 29){
  dmmmin5 = mmruut - mmruut3;
  mmruut3 = mmruut;
  tb.sendTelemetryFloat("5 min sademed", dmmmin5);
  SUMveetase = 0;
  period5min = 0;
}

if (period == 359){
  dmmmin = mmruut - mmruut2;
  mmruut2 = mmruut;
  tb.sendTelemetryFloat("60 min sademed", dmmmin);
  period = 0;
}

digitalWrite(LED_BUILTIN, LOW);
delay(2);
digitalWrite(LED_BUILTIN, HIGH);
if (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
  reconnect();
}

if (!tb.connected()) {
  Serial.print("Connecting to: ");
  Serial.print(THINGSBOARD_SERVER);
  Serial.print(" with token ");
  Serial.println(TOKEN);
  if (!tb.connect(THINGSBOARD_SERVER, TOKEN)) {
    Serial.println("Failed to connect");
    return;
  }
}

Serial.println("Sending data...");
```

Lisa 1 järg

```
tb.sendTelemetryInt("kaugus", kaugus);
tb.sendTelemetryInt("veetase", veetase);
tb.sendTelemetryFloat("mm", mmruut);
Serial.print("kaugus: ");
Serial.print(kaugus);
Serial.print("veetase: ");
Serial.print(veetase);
Serial.print("periood: ");
Serial.print(periood);
Serial.print("periood 2: ");
Serial.print(periood5min);

tb.loop();

}

void InitWiFi()
{
  Serial.println("Connecting to AP ...");

  WiFi.begin(WIFI_AP, WIFI_PASSWORD);
  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    delay(500);
    Serial.print(".");
  }
  Serial.println("Connected to AP");
}

void reconnect() {
  status = WiFi.status();
  if ( status != WL_CONNECTED) {
    WiFi.begin(WIFI_AP, WIFI_PASSWORD);
    while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
      delay(500);
      Serial.print(".");
    }
    Serial.println("Connected to AP");
  }
}
```

Lisa 2. Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks ning juhendajate kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Mina, Harlis All,

(autori nimi)

sünniaeg 28.08.1998,

1. annan Eesti Maaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda koostatud lõputöö „Sademete kaudne monitooring Eesti Maaülikooli Tehnikamaja taristul“,

(lõputöö pealkiri)

mille juhendaja(d) on Mart Hovi ja Külli Hovi,

(juhendaja(te) nimi)

- 1.1. salvestamiseks säilitamise eesmärgil,
1.2. digiarhiivi DSpace lisamiseks ja
1.3. veebikeskkonnas üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile;
3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Lõputöö autor Harlis All /allkirjastatud digitaalselt

(allkiri)

Tartu, 25.05.2021

(kuupäev)

Juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Luban lõputöö kaitsmisele.

Mart Hovi /allkirjastatud digitaalselt
(juhendaja nimi ja allkiri)

(kuupäev)

Küll Hovi /allkirjastatud digitaalselt
(juhendaja nimi ja allkiri)

(kuupäev)